

Л.Н. Красноха, канд. техн. наук, нач. отдела научных работ Госпотребстандарта Украины,

Н.Н. Оберемок, адъюнкт, НУГЗУ,

А.В. Прокопов, д-р физ.-мат. наук, профессор, НУГЗУ

АЛГОРИТМ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В СФЕРЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Представлен алгоритм выбора оптимального варианта при планировании и оценке результатов метрологических работ в сфере пожарной безопасности. В основу алгоритма положен метод анализа иерархий, допускающий использование количественных и качественных критериев различной природы и размерности.

Ключевые слова: модель, оптимизация, пожарная безопасность, метод анализа иерархий.

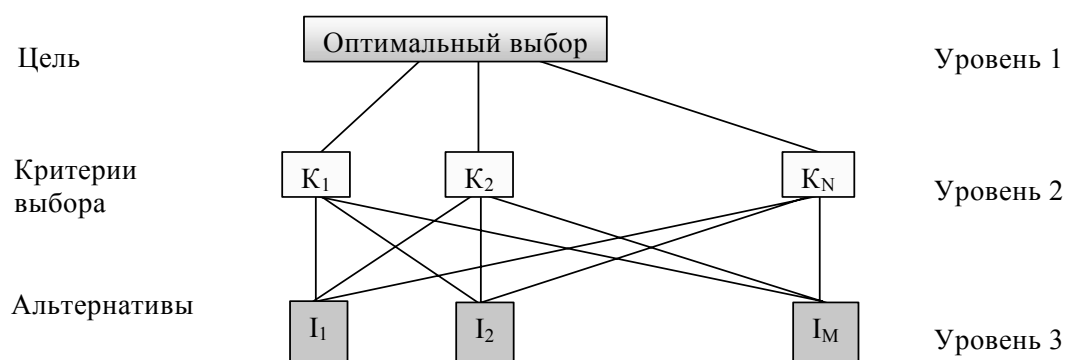
Постановка проблемы. Результативность мероприятий по обеспечению пожарной безопасности в различных сферах деятельности человека зависит от многих факторов, среди которых важное место занимает уровень метрологического обеспечения данных мероприятий. Именно метрология и измерения позволяют получить разнообразную количественную информацию, необходимую для обоснования адекватных управленческих и технических решений по вопросам пожарной безопасности. В связи с этим актуальными являются исследования, направленные на разработку эффективных методов планирования и оценки результатов метрологических работ в сфере пожарной безопасности.

Анализ последних исследований и публикаций. В статье [1] обоснован алгоритм оценки экономической целесообразности инвестиций в метрологическую деятельность, осуществляемую в сфере пожарной безопасности. Следует, однако, отметить, что при планировании и оценке результатов метрологических работ в данной сфере является существенным учет не только экономических, но и многих других факторов, в общем случае имеющих неэкономический характер. Среди таких факторов можно указать степень соответствия оснащения пожарно-спасательных подразделений растущим техническим требованиям, расширение их функциональных возможностей и повышение эффективности работы, повышение уровня безопасности населения, уменьшение вероятности чрезвычайных ситуаций и т.д. Из сказанного следует, что задача оптимального планирования мет-

рологических работ в сфере пожарной безопасности (равно как и задача оценки эффективности результатов этих работ) является многокритериальной. Критерии выбора (оптимизации), в соответствии с вышеизложенным, могут быть качественными либо количественными, имеющими различную числовую природу, что затрудняет решение оптимизационной задачи.

Для решения подобного рода задач в последние годы используется метод анализа иерархий (МАИ), предложенный американским математиком Т.Саати [2]. В статье [3] этот метод был опробован на примере решения общей задачи оценки эффективности деятельности предприятий и организаций МЧС Украины. В настоящей статье этот метод предлагается использовать для решения более узких задач планирования и оценки результатов метрологической деятельности подразделений МЧС в сфере пожарной безопасности.

Структуру рассматриваемой задачи в рамках МАИ можно представить [1] в виде трех иерархических уровней. Первый (верхний) уровень иерархии соответствует цели поставленной задачи – оптимальному выбору (речь идет либо о выборе оптимального плана метрологической деятельности либо о выборе наиболее эффективного результата осуществления избранного плана). На втором уровне размещаются критерии, с помощью которых осуществляется выбор. На третьем (нижнем) уровне – альтернативы, которые необходимо сравнить, чтобы осуществить выбор.



Анализ показывает, что МАИ позволяет спланировать и оценить эффективность метрологической деятельности подразделений МЧС, в сферу ответственности которых входит обеспечение пожарной безопасности, причем в различной исходной постановке (при использовании различных наборов критериев оценки деятельности). Прежде всего, может быть выполнено оптимальное планирование и сравнительный анализ деятельности всех пожарно-спасательных подразделений, подчиняющихся областным управлениям МЧС (один вариант для всех подразделений). С другим набором критериев мо-

жет быть выполнено планирование и сравнительный анализ деятельности соответствующих подразделений вузов или министерства.

Кроме этого, может быть проведен сравнительный анализ динамики результатов работы по каждому подразделению отдельно – для реализации этого варианта итоги работы подразделения в текущем году (периоде) сравниваются с итогами его работы за предыдущий год (период).

Расчетный алгоритм для всех вышеуказанных вариантов может быть одинаковым, но исходные данные для расчетов по каждому из вариантов должны быть отдельными.

Приведем основные соотношения расчетного алгоритма МАИ, адаптированные к рассматриваемой задаче. При попарном сравнении между собой всех критериев выбранного варианта, в том числе, количественных и качественных, результатам сравнения этих критериев придаются численные значения согласно шкале Саати, в которой относительная важность a_{ij} критерия i в сравнении с критерием j может быть выражена натуральным числом от 1 до 9. При этом равная важность характеризуется числом 1, умеренное преимущество одного над другим – 3, существенное преимущество – 5, значительное преимущество – 7, очень сильное преимущество – 9. Промежуточное решение между двумя соседними суждениями – 2, 4, 6, 8. Числа a_{ij} являются элементами матрицы попарных сравнений критериев:

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_{11} \dots a_{1N} \\ \dots \dots \dots \\ a_{N1} \dots a_{NN} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где N - количество критериев, a_{ij} - относительная важность критерия i по отношению к критерию j (результат попарного сравнения по шкале Саати). Когда $i = j$, то $a_{ij} = 1$, $a_{ij} = a_{ji}^{-1}$ [1].

Аналогично строятся также матрицы \mathbf{B}_k попарного сравнения альтернатив (подразделений либо вариантов планирования метрологической деятельности) относительно каждого критерия с номером $k = 1, 2, \dots, N$, N - количество критериев:

$$\mathbf{B}_k = \begin{pmatrix} b_{11}^k \dots b_{1M}^k \\ \dots \dots \dots \\ b_{M1}^k \dots b_{MM}^k \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где b_{in}^k - результат попарного сравнения 1-го и n -го подразделения (варианта планирования) в соответствии с k -м критерием ($k=1,2,\dots,N$), M - количество подразделений или вариантов планирования метрологических работ, которые сравниваются.

С использованием матриц (1), (2) оптимальный выбор из сравниваемых вариантов проводится таким образом:

а) определяются нормированные собственные векторы для каждой построенной матрицы попарных сравнений (это векторы, которые определяют локальные приоритеты). Компоненты нормированных собственных векторов локальных приоритетов определяются по формуле:

$$A_i^k = \left(\prod_{j=1}^L X_{ij}^k \right)^{\frac{1}{L}} \left(\sum_{i=1}^L \left(\prod_{j=1}^L X_{ij}^k \right)^{\frac{1}{L}} \right)^{-1}, \quad (3)$$

где $X_{ij}^k = a_{ij}$ для $k=0$; $L=N$; $i, j=1,2,\dots,N$ (для матрицы (1) попарных сравнений критериев); $X_{ij}^k = b_{ij}^k$ для $k=1,2,\dots,N$; $L=M$; $i, j=1,2,\dots,M$ (для матриц (2) попарных сравнений подразделений или вариантов планирования).

Индекс k (натуральное число) используется для обозначения номера критерия, по которому сопоставляются величины с этим индексом. Если же речь идет о сравнении самих критериев, используется $k=0$;

б) проверяется согласованность локальных приоритетов в соответствии с алгоритмом, описанным в [2];

в) определяются глобальные (обобщенные) приоритеты для каждого из M подразделений (вариантов планирования), которые сравниваются, по формуле:

$$G_n = \sum_{i=1}^N A_i^0 A_n^i, \quad n=1,2,\dots,M. \quad (4)$$

где A_i^0, A_n^i - компоненты нормируемых собственных векторов локальных приоритетов, которые определяются по формуле (3);

г) найденные по формуле (4) глобальные приоритеты для каждого из подразделений или вариантов планирования (то есть, для $n=1,2,\dots,M$) ранжируются (размещаются в порядке роста величины G_n). Полученный порядок является ранжированием сравниваемых подразделений (вариантов планирования) с учетом всех избранных для сравнения критериев. Подразделение (или вариант плана), для

которого получено максимальное значение G_n , признается наиболее эффективным.

Перечень критериев оценки эффективности метрологической деятельности подразделений МЧС Украины в сфере пожарной безопасности в общем случае формируется (с учетом рекомендаций Т.Саати [1]) лицом, которое принимает решение, или группой экспертов. Могут быть использованы, в частности, критерии, базирующиеся на информации о деятельности подразделений МЧС Украины, представленной в инструкциях и положениях об этих подразделениях, например: K_1 – показатели оснащенности метрологическим оборудованием; K_2 – показатели метрологической готовности средств измерительной техники и оборудования; K_3 – показатели использования метрологического оборудования; K_4 – степень выполнения плановых показателей по повышению эффективности метрологической деятельности; K_5 – показатели затрат на мероприятия по повышению эффективности метрологической деятельности; K_6 – укомплектованность специалистами-метрологами; K_7 – количество метрологических отказов.

Для построения матриц B_k попарного сравнения рассматриваемых альтернатив может быть использована отчетная информация подразделений, представляемая ими руководству в соответствии с вышеупомянутыми инструкциями и положениями.

Отметим, что компоненты нормированных векторов локальных приоритетов являются, по сути, соответствующими весовыми характеристиками, поскольку соотношения (3) устанавливают аналитическую связь между показателями относительной важности сравниваемых элементов по шкале Саати и их весовыми коэффициентами

$$\frac{\sqrt[i]{(1 \cdot a_{12} \dots a_{1i})}}{\sqrt[i]{1 \cdot a_{12} \dots a_{1i}} + \sqrt[i]{a_{21} \cdot 1 \cdot a_{23} \dots a_{2i}} + \dots + \sqrt[i]{a_{i1} \cdot a_{i2} \dots 1}} = A_1$$

$$\frac{\sqrt[i]{a_{21} \cdot 1 \cdot a_{23} \dots a_{2i}}}{\sqrt[i]{1 \cdot a_{12} \dots a_{1i}} + \sqrt[i]{a_{21} \cdot 1 \cdot a_{23} \dots a_{2i}} + \dots + \sqrt[i]{a_{i1} \cdot a_{i2} \dots 1}} = A_2$$

.....

$$\frac{\sqrt[i]{a_{i1} \cdot a_{i2} \dots 1}}{\sqrt[i]{1 \cdot a_{12} \dots a_{1i}} + \sqrt[i]{a_{21} \cdot 1 \cdot a_{23} \dots a_{2i}} + \dots + \sqrt[i]{a_{i1} \cdot a_{i2} \dots 1}} = A_i$$

Такая связь позволяет определять отдельные элементы матриц (1), (2) не только в результате попарных сравнений, но и (в тех случаях, когда какое либо из попарных сравнений осуществить не удастся) путем пересчета с применением весов используемых критериев (которые могут быть установлены с использованием дополнительной информации либо на основе экспертных оценок).

Выводы. Вышеописанный алгоритм может быть использован для оптимального планирования метрологической деятельности в сфере пожарной безопасности, а также для оценки эффективности выполнения запланированных метрологических работ. Данный алгоритм, в основу которого положен метод анализа иерархий Т. Саати, привлекателен тем, что позволяет сделать выводы о достоверности результатов оценки. Это обеспечивается благодаря тому, что в процессе оценки в рамках МАИ определяется так называемое отношение согласованности, величина которого позволяет судить о непротиворечивости исходных данных (отсутствии в них систематических ошибок) и, следовательно, о достоверности получаемых результатов оценки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Саати Т. Аналитическое планирование. Организация систем/ Саати Т., Кернс К. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.

2. Прокопов А.В. О применении метода анализа иерархий для оценки эффективности деятельности предприятий и организаций МЧС Украины/ Прокопов А.В., Щербак С.С. // Проблемы надзвичайних ситуацій. Зб.наук.пр. НУЦЗ України.-2010.- Вип. 12. – С. 122-131.

3. Оберемок Н.Н. Алгоритм оценки экономической целесообразности инвестиций в метрологическую деятельность пожарно-спасательных подразделений/ Оберемок Н.Н., Прокопов А.В. // Проблемы надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. НУЦЗ України. – 2010.- Вип 13. – С. 107-112.
nuczu.edu.ua

Л.М. Красоха, М.М. Оберемок, О.В. Прокопов

Алгоритми багатокритеріальної оптимізації при оцінці ефективності метрологічної діяльності в сфері пожежної безпеки.

Сформульовано алгоритм вибору оптимального варіанту при плануванні та оцінці результатів метрологічних робіт у сфері пожежної безпеки. В основу алгоритму покладено метод аналізу ієрархій Сааті, що допускає використання кількісних і якісних критеріїв різної природи і розмірності.

Ключові слова: модель, оптимізація, пожежна безпека, метод аналізу ієрархій.

L.M. Krasoha, M.M. Oberemok, O.V. Prokopov

Algorithms of multicriterion optimization are at the estimation of efficiency of metrology activity in the sphere of fire safety.

The algorithm of choice of optimal variant at planning and estimation of results of metrology works is set forth in the field of fire safety. The method of analysis of hierarchies of Saati is fixed in basis of algorithm what assumes the use of quantitative and high-quality criteria of different nature and dimension.

Keywords: model, optimization, fire safety, method of analysis of hierarchies.